第３講　生物の環境応答

【１】 次の文章を読み，問い(問１～問３)に答えよ。

生物はさまざまな目的で光を利用している。体外の光エネルギーを生物の体内の物質が持つ化学エネルギーに変換するため，植物は光合成を行う。しかしエネルギー源としてではなく，周囲の状況を知るために光が利用されることもある。たとえばヒトでは，眼においてレンズの働きをする［(あ)］を通過した光が像を結ぶ面である［(い)］に並んでいる［(う)］細胞によって光の強弱が神経の信号に変換され，個体の周囲の光の強さや波長の空間的な分布を知ることができる。これとは別に，季節による１日の昼と夜の長さの変化に対応した生理的な応答が生物の体内で起きることもある。植物の開花では長日植物と(a)短日植物が知られていて，農業では栽培植物の開花時期の人為的な調節に光が利用されることがある。

温度も環境を知るために利用されることがあり，(b)強い寒さによって休眠が打破されたり，花芽が形成されたりする現象が知られている。他方で，ある期間の積算温度が期間内の生化学反応の総量を決めることもあるが，これと類似した現象として(c)一定の値を超えた温度の積算値(積算温度)が生物の成長量や，気候に対応した生物の分布に影響する現象も知られている。

問１．文中の［(あ)］～［(う)］にあてはまる適切な語句を記入せよ。

問２．下線部(a)～(c)について以下の問いに答えよ。

(1)　下線部(a)の用語を30字以内で説明せよ。なお，句読点は文字数に含む。

(2)　下線部(b)の現象を表す用語を答えよ。

(3)　下線部(c)に関して日本周辺におけるバイオームの分布を説明する場合に用いられる積算温度(指数)の名称を答えよ。

問３．照葉樹林バイオームの里山において，3年間に49回にわたって決められた経路を歩き，野生の植物55種の花や実，葉の有無を調べた。その結果，それぞれの調査時点における花や実，葉の有無の記録として49個の調査サンプルを得た(表)。この調査サンプルを統計的に処理し，花や実，葉の有無において類似した調査サンプルをグループ化したところ，5つのまとまりが得られた。これを生物学的な季節と見なし，それぞれに生物学的冬(Ⅰ)，生物学的早春(Ⅱ)，生物学的春(Ⅲ)，生物学的夏(Ⅳ)，生物学的秋(Ⅴ)の名称を与えた。たとえば生物学的冬(Ⅰ)に属する調査サンプルでは共通して多くの種が落葉し，花をつけている種は少なかった。生物学的早春(Ⅱ)に属する調査サンプルでは種Ａなどの花が観察された(表)。暦が同じ日であっても年により寒暖に差があったが，気温(調査日の前7日間の平均値)の違いに対応して年により開花時期が異なる種と，気温の違いにかかわらず暦の上で決まった時期に開花する種があった。

日長と気温を座標軸としたグラフを作成し，このグラフの上に49個の調査サンプルの位置を示した(図)。また調査した55種の植物の花や実，葉の有無によって統計的に区分した各調査サンプルの生物学的季節を，記号(◇や▲など)により表示した。この図を見て，以下の(1)～(3)に答えよ。

表　ひとつの地域でさまざまな植物の花や実，葉の有無を３年間にわたって調べた記録の仮想的な例。データの一部として49個の調査サンプルのうち３つの調査サンプル(①～③)を，また調査した55種のうち２種(種Ａと種B)を示す。

調査サンプル	調査年	調査年月	日長(時間)	気温(℃)	種Ａ			種Ｂ		
					花	実	葉	花	実	葉
①	1年目	a月b日	10.43	4.9	無	有	無	無	無	無
②	2年目	c月d日	12.78	10.7	有	有	有	無	無	有
③	3年目	e月f日	10.13	10.7	無	無	有	無	有	有

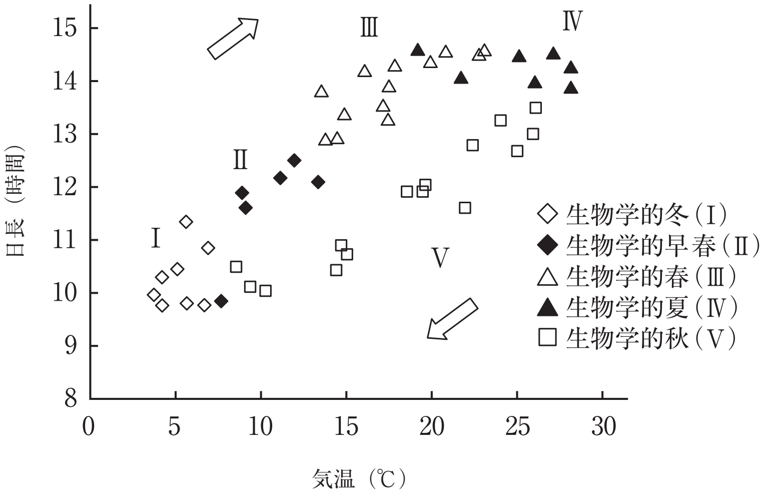

図　照葉樹林バイオームの里山における生物学的季節。グラフの各点は調査サンプルである。調査した55種の花や実，葉の有無にもとづいて区分した生物学的季節（Ⅰ～Ⅴ）を記号で示す。矢印は季節が進行する方向を示す。

⑴　表中の調査サンプル①はどの生物学的季節に所属すると考えられるか。図から読み取り解答せよ。

⑵　生物学的冬（Ⅰ）と，隣接する2つの季節である生物学的秋（Ⅴ）および生物学的早春（Ⅱ）との間の移行について，図から読み取ることができることを日長と気温の語を用いて50字以内で説明せよ。なお，句読点は文字数に含む。

⑶　生物学的夏（Ⅳ）から生物学的秋（Ⅴ）への移行について，図から読み取ることができることを日長と気温の語を用いて40字以内で説明せよ。なお，句読点は文字数に含む。

【2】

〔Ⅰ〕 動物の行動と神経系について考えよう。行動は，環境から情報を集める［ア］，環境に対して働きかける［イ］，［ア］からの情報を統合して［イ］への適切な指令をおこなう神経系，これらが連携することにより実現されている。神経系は，ニューロンと［ウ］の２種類の細胞から構成され，ニューロンが構築する神経回路での電気信号処理が，行動制御の基盤となっている。信号を受け取っていないニューロンの膜電位は，細胞外を基準として約 − 70mVで，これを静止電位とよぶ。細胞内外のイオン濃度は，それぞれのイオンで異なる。細胞内のナトリウムイオン(Na^+)濃度は細胞外に比べて低い。一方，細胞内のカリウムイオン(K^+)濃度は細胞外に比べて高い。(a)このような細胞内外のイオン濃度の違いが，膜電位の発生には重要である。ニューロンが十分な刺激を受けると，活動電位とよばれる急速な膜電位変化を示す。活動電位は，刺激がある強さ以上になったときに生じ，このときの刺激強度を［エ］とよぶ。活動電位の大きさは，［エ］よりも強い刺激でも変化しない。この性質を［オ］という。

問(1) ［ア］〜［オ］に適切な語句を入れよ。

問(2) 下線部(a)について，「操作Ａ：細胞内のNa^+濃度を増加させる」と「操作Ｂ：細胞内のK^+濃度を増加させる」，いずれかの人為的操作をしたニューロンについて考えよう。静止電位の絶対値は，ＡとＢそれぞれの操作をおこなったニューロンでは，操作前に比べてどのようになるか，以下の①〜③から適切なものを選び，番号を記せ。なお，それぞれのイオン濃度操作は，活動電位を生じさせるほどの変化ではなく，静止電位形成時のNa^+透過性は０であると仮定せよ。

① 静止電位の絶対値は小さくなる。　② 静止電位の絶対値は大きくなる。
③ 静止電位の絶対値は変わらない。

問(3) 活動電位を生じたとき，膜電位は一過的に正の値をとる。この正の膜電位の最大値を「活動電位のピーク値」とする。問(2)と同様，操作Ａと操作Ｂそれぞれの人為的操作をしたニューロンでは，活動電位のピーク値は操作前のニューロンに比べてどのようになるか，その予想と理由を，以下の語群のいずれかを組合せて記せ。ただし，活動電位のピーク値には，電位依存性K^+チャネルも寄与していると仮定せよ。

〔語群〕
「電位依存性Na^+チャネルを通るNa^+の流入量」「K^+チャネルを通るK^+の流出量」
「活動電位のピーク値」　「大きくなる」
「小さくなる」　「変わらない」

〔Ⅱ〕 動物行動の例として，コオロギの歌コミュニケーションを考えよう(図1)。雄のコオロギは，翅(はね)を使って雌を呼び寄せるための歌を発する。翅にはやすり状の突起があり，翅を閉じるときに,これらの突起を連続的にはじくことにより,約1,000ヘルツの音が生ずる。この音の周波数を「搬送周波数」とよぶ。翅を1回閉じるときに生ずる音を「シラブル」とよぶ。翅を開くときには音は生じないため，翅を複数回開閉すると，無音の期間ではさまれた複数のシラブルが連続して生ずる。単位時間あたりのシラブルの数を「シラブル頻度」とよぶ。送信者としての雄が示す歌の音響パラメーターは,遺伝的に決定されている。一方，雌は歌を発することはなく，受信者として同種の雄の発する歌をより好んで誘引される。すなわち,「搬送周波数」や「シラブル頻度」といった雄の発する歌の音響パラメーターは，種特異的な値をもち，雌はそれらを識別することにより，コミュニケーションが成立しているのである。

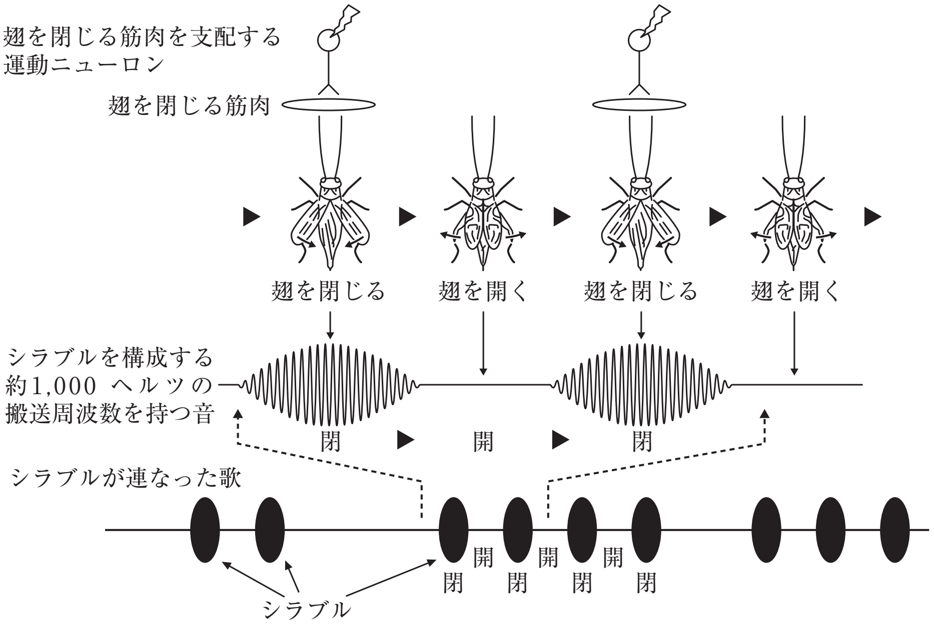

図1　コオロギの歌の生成とその音響パラメーター

歌の音響パラメーターの遺伝様式を調べるために，近縁2種のコオロギの交配により得られる，雑種第一代(F_1)の雄個体が発する歌について解析した。使用した種Aと種Bは，純系のホモ接合体であり，搬送周波数とシラブル頻度は各々の種で異なる。母親が種Aで父親が種BであるF_1を「雑種AB」とし，母親が種Bで父親が種AであるF_1を「雑種BA」とする。種Aの雄の歌を「歌A」，種Bの雄の歌を「歌B」，雑種ABの雄の歌を「歌AB」，雑種BAの雄の歌を「歌BA」とする。歌の音響パラメーターを調べたところ，歌ABと歌BAの搬送周波数は，歌Aと歌Bの中間値を示した。一方，歌ABは歌Aと同じシラブル頻度であり，歌BAは歌Bと同じシラブル頻度であった。(b)これらのコオロギは，XO雄ヘテロ型の性決定様式であるため，雄は母親由来の1本のX染色体のみをもつ。雌

は母親由来と父親由来の２本のＸ染色体をもつ。これらのことから，シラブル頻度を決定している遺伝子はＸ染色体上に存在すると推定された。

問(4)　下線部(b)のような遺伝様式の名称を記せ。

問(5)　翅を閉じる筋肉の１回の収縮は，この筋肉を支配する運動ニューロンに生じた１回の活動電位によって生ずる。したがって，翅の大きさなどの外部形態に差がない場合，搬送周波数の違いは翅を閉じる速度に依存していると想定できる。搬送周波数が大きくなるのは，以下の①～⑤のうちどの条件か，適切な番号をすべて記せ。
　①　運動ニューロンの軸索が太くなり，活動電位の伝導速度が速くなったとき。
　②　運動ニューロンの神経終末の電位依存性Ca^{2+}チャネルの数が増えたとき。
　③　運動ニューロンからの神経伝達物質の放出量が増えたとき。
　④　神経筋接合部での神経伝達物質の分解が促進されたとき。
　⑤　翅を閉じる筋肉上の神経伝達物質受容体の数が増えたとき。

問(6)　搬送周波数もシラブル頻度も，それぞれ１つの遺伝子によってその形質が決定されると考えよう。搬送周波数を決めている遺伝子をC遺伝子とし，種ＡのC遺伝子をC^A，種ＢのC遺伝子をC^Bとする。同様に，シラブル頻度を決めている遺伝子をS遺伝子とし，種ＡのS遺伝子をS^A，種ＢのS遺伝子をS^Bとする。このとき，種Ａ雌の遺伝子型は「$C^AC^AS^AS^A$」と，種Ｂ雌の遺伝子型は「$C^BC^BS^BS^B$」と表記できる。シラブル頻度を決める遺伝子は，Ｘ染色体上に存在すると考えられるため，Ｘ染色体を１つしかもたない種Ａ雄の遺伝子型は「$C^AC^AS^A$_」と表記でき，種Ｂ雄の遺伝子型は「$C^BC^BS^B$_」と表記できる。ここで，「_」は相同染色体が存在しないことを意味している。これらの表記法に従い，①雑種ABの雌，②雑種ABの雄，③雑種BAの雌，④雑種BAの雄，それぞれの遺伝子型を記せ。

問(7)　歌A，歌AB，歌BA，歌B，以上4種類の歌に対する，種Ａの雌の選好性を調べた。その結果，それぞれの歌に対する選好性の強さは，歌Ａに対する強さを1とすると，歌AB＝0.8，歌BA＝0.2，歌Ｂ＝0.1であった。歌の2つの音響パラメーターである「搬送周波数」と「シラブル頻度」について，雌の選好性への寄与の違いを100字程度で記せ。

問(8)　種Ａの雌に対して，雑種ABの雄を戻し交配し，次世代BC_1の雄が得られたとしよう。歌A，歌AB，歌BA，歌B，それぞれと同じ音響パラメーターをもつ歌を発するBC_1雄の個体数の比「歌Ａ：歌AB：歌BA：歌B」を計算し記せ。ただし，いずれの交配でも，染色体間の組換えは起こらないと仮定せよ。

第３講

【１】

問１．(あ)　水晶体　　(い)　網膜　　(う)　視

問２．(1)　連続した暗期の長さが一定の値を超えると花芽が分化する植物。

(2)　春化　　(3)　暖かさの指数

問３．(1)　生物学的冬

(2)　ⅤからⅠへの移行は気温の低下を，ⅠからⅡへの移行は気温の上昇と日長の延長を伴う。

(3)　日長が一定の値より短くなるとⅣからⅤに移行し，気温はあまり関係しない。

【２】

〔Ⅰ〕問(1)　ア　受容器　　イ　効果器　　ウ　グリア細胞

エ　閾値　　オ　全か無かの法則

問(2)　A　③　　B　②

問(3)

A　予想…活動電位のピーク値が小さくなる。

理由…電位依存性Na$^+$チャネルを通過するNa$^+$の流入量が小さくなるため。

B　予想…活動電位のピーク値が小さくなる。

理由…K$^+$チャネルを通るK$^+$の流出量が大きくなるため。

〔Ⅱ〕問(4)　伴性遺伝　　問(5)　②，③，⑤

問(6)　①　$C^AC^BS^AS^B$　　②　$C^AC^BS^A_$　　③　$C^AC^BS^AS^B$

④　$C^AC^BS^B_$

問(7)　搬送周波数が変化しても選好性の強さはあまり変化しないが，シラブル頻度が変化した場合は選好性の強さが大きく変化することから，シラブル頻度の方が雌の選好性への寄与が大きいと考えられる。

問(8)　1：1：0：0